

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



РСТ



(43) Дата международной публикации:
12 сентября 2003 (12.09.2003)

(10) Номер международной публикации:
WO 03/075043 A2

(51) Международная патентная классификация¹: G02B

(81) Указанные государства (национально): CA, CZ, IL, IN, JP, KR, UA, US.

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU03/00090

(84) Указанные государства (регионально): евразийский патент (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(22) Дата международной подачи:
6 марта 2003 (06.03.2003)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:
2002106585 7 марта 2002 (07.03.2002) RU

Декларации в соответствии с правилом 4.17:

Касающаяся установления личности изобретателя (правило 4.17 (i)) для следующих указанных государств CA, CZ, IL, IN, JP, KR, UA, евразийский патент (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(71) Заявитель и

(72) Изобретатель: ГОНЧАРОВ Сергей Евгеньевич [RU/RU]; 198205 Санкт-Петербург, пр. Народного Ополчения, д. 211, кв. 4 (RU) [GONCHAROV, Sergey Evgenievich, St.Petersburg (RU)].

Касающаяся установления личности изобретателя (правило 4.17 (i)) для следующих указанных государств CA, CZ, IL, IN, JP, KR, UA, евразийский патент (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(72) Изобретатель; и

(75) Изобретатель/Заявитель (только для (US): ЗАЛЕВСКИЙ Игорь Дмитриевич [RU/RU]; 141120 Московская обл., Фрязино, пр. Мира, д. 23, кв. 16 (RU) [ZALEVSKY, Igor Dmitrievich, Fryazino (RU)].

Касающаяся права заявителя подавать заявку на патент и получать его (правило 4.17 (ii)) для всех указанных государств

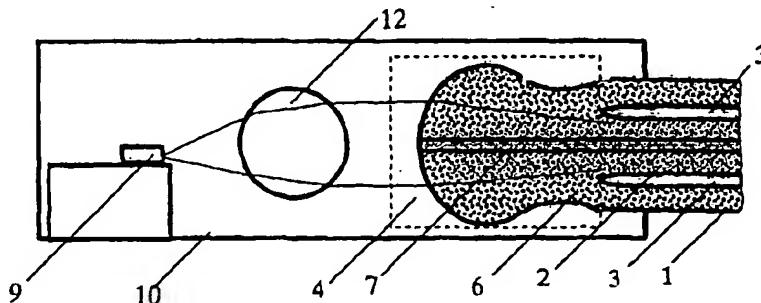
(74) Общий представитель: ГОНЧАРОВ Сергей Евгеньевич; 198205 Санкт-Петербург, пр. Народного Ополчения, д. 211, кв. 4 (RU) [GONCHAROV, Sergey Evgenievich, St.Petersburg (RU)].

Касающаяся права заявителя подавать заявку на патент и получать его (правило 4.17 (ii)) для всех указанных государств

[Продолжение на след. странице]

(54) Title: LENS OPTICAL FIBRE AND A LASER MODULE

(54) Название изобретения: ЛИНЗОВОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО И ЛАЗЕРНЫЙ МОДУЛЬ



(57) Abstract: The inventive optical device and laser module relate to optical devices for optical interfacing of multi-mode and single-mode optical fibres such as «air-clad», «holey optical fibre» and others with a radiation source or receiver. The inventive lens optical fibre comprises optical fibre in the form of a light guiding space encompassed by hollow longitudinal channels, and a lens element in the form of a lens space and a neck thermally formed of fibre material on the end thereof. Said channels are closed on the border between the neck and the optical fibre. The laser module comprises a laser emitter and a lens optical fibre which is arranged in the direction of a laser beam. Said lens optical fibre comprises the optical fibre in the form of a light guiding space encompassed by hollow longitudinal channels, and a lens element in the form of a lens space and a neck thermally formed of fibre material on the end thereof. Said channels are closed on the border between the neck and the optical fibre.

[Продолжение на след. странице]



WO 03/075043 A2



Об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv)) только для US.

Опубликована

Без отчёта о международном поиске и с повторной публикацией по получении отчёта.

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и других сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям», публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюллетеня PCT.

(57) Реферат: Оптическое устройство и лазерный модуль относятся к оптическим устройствам, предназначенным для оптического согласования оптического волокна, как многомодового, так и одномодового, типа "air-clad", "holey optical fibre" и им подобных, с источником или приемником излучения.

Линзовое оптическое волокно включает оптическое волокно в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами, и линзовый элемент в виде линзовой области и горловины, термически сформированный из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты у границы горловины и волокна.

Лазерный модуль включает лазерный излучатель и установленное по ходу лазерного луча линзовое оптическое волокно, состоящее из оптического волокна в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами, и линзового элемента в виде линзовой области и горловины, термически сформированного из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты у границы горловины и оптического волокна.

ЛИНЗОВОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО И ЛАЗЕРНЫЙ МОДУЛЬ

Область техники

Изобретение относится к оптоэлектронике, а более конкретно к
5 оптическим устройствам, предназначенным для коллимирования или
фокусирования светового излучения, выходящего из оптического
волокна или входящего в него, с помощью линзового элемента,
сформированного на конце оптического волокна, в частности с помощью
сферической линзы.

10 Предшествующий уровень техни

Развитие техники оптической связи, использование в ней таких
элементов, как волоконные источники лазерного излучения, волоконные
фотоприемники и другие волоконные устройства, вызвало потребность в
малогабаритных устройствах ввода светового излучения из свободного
15 пространства в оптическое волокно, а также в устройствах вывода
излучения из волокна в свободное пространство. В последние годы
разработаны новые оптические волокна, как многомодовые, так и
одномодовые, типа "one-material optical fiber", "air-clad", "optical fiber",
"holey optical fibre", "jacketed air clad optical fibre", "microstructured optical
20 fibre", "photonic band-gap optical fibre" и им подобные (см.: заявка США
№ 20010031118, МПК G 02 B 6/02, опубликована 18.10.2001г., патент
США № 5907652, МПК G 02 B 6/20, опубликован 25.05.1999г.).

В отличие от обычного оптического волокна, эти оптические волокна
объединяет общее свойство - наличие пустотелых каналов,
25 расположенных вдоль светопроводящей области волокна. Расположение
таких каналов в поперечном сечении волокна, количество каналов и их
форма может быть самое различное. Наличие этих каналов оказывает
существенное влияние на светоудерживающие свойства оптического
волокна. В отличие от обычного оптического волокна, в котором
30 световедущая жила и оболочка изготовлены из материалов с разными

оптическими характеристиками, оптическое волокно с пустотелыми каналами может быть изготовлено из однородного материала, так как удержание света в таком волокне происходит на границе раздела между материалом волокна и пустотами каналов. Преимуществом оптических волокон с пустотелыми каналами является большая апертура и возможность изготовления светопроводящей области и оболочки из одного и того же материала.

Однако изготовление оптических устройств с применением таких волокон оказывается достаточно затруднительным из-за наличия открытых каналов, адсорбирующих на своих стенках различные загрязнения.

Линзовые оптические волокна в указанных выше оптических устройствах выполняют обычно функции коллимации или фокусировки оптического излучения, распространяющегося по этому волокну. В этих волокнах выходящий из световедущей жилы расширяющийся световой пучок преобразуется в приблизительно параллельный или сходящийся в свободном пространстве световой пучок. При вводе излучения в линзовое оптическое волокно распространяющийся в свободном пространстве световой пучок преобразуется в сходящийся световой пучок, перетяжка которого обычно совмещена с концом световедущей жилы оптического волокна. Таким образом, линзовый оптический волновод обычно выполняет функцию согласования параметров светового пучка (таких, как размер перетяжки и апертура) с параметрами оптического волокна (такими, как диаметр световедущей области и апертура).

Для коллимирования, фокусировки или оптического согласования используют различные линзовые элементы, в частности, градиентные линзы, линзы со сферической или асферической поверхностью,

цилиндрические линзы, а также комбинированные оптические системы, состоящие из нескольких линзовых элементов.

Особым классом изделий, предназначенных для коллимирования, фокусировки или оптического согласования являются микрооптические элементы, а именно, линзовые оптические волокна, в которых линзовый элемент сформирован непосредственно на конце оптического волокна из материала самого волокна или изготовлен из другого материала и присоединен к концу волокна.

Известно линзовое оптическое волокно, включающее оптическое волокно, имеющее световедущую жилу и оболочку, а также линзовый элемент, имеющий линзовую часть и горловину, которая прикреплена к торцу волокна (см. заявка США № 200220009261, МПК G 02 В 6/32, опубликована 24.01.2002г.).

При прикреплении линзовой части к оптическому волокну с пустотелыми продольными каналами происходит неконтролируемое поступление в каналы материала линзовой части (при сварке), либо материала клея (при прикреплении линзовой части склейкой), что отрицательно сказывается на оптических параметрах изготавливаемого линзового оптического волокна. Кроме того, соединение разных материалов сваркой вызывает механические напряжения в месте соединения из-за различия температурных коэффициентов линейного расширения. При использовании же склейки, изделие получается недостаточно эффективным для работы при высоком уровне мощности.

Известен модуль лазерного диода, содержащий чип лазерного диода, блок управления для подачи напряжения на чип лазерного диода и оптическое устройство, установленное по ходу лазерного луча. Оптическое устройство включает оптическое волокно для передачи светового сигнала, наконечник для жесткого удержания оптического волокна и линзу для фокусировки лазерного луча, установленную в

заданном положении от одного конца наконечника, и втулку для точного выравнивания наконечника и линзы (см. патент США № 5388171, МПК G 02 В 6/32, опубликован 07.02.1995г.).

Известный модуль лазерного диода при использовании в нем
5 волокна с пустотелыми каналами недостаточно стабилен в работе из-за загрязнения стенок пустотелых каналов в процессе изготовления и эксплуатации модуля.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков к
заявляемому линзовому оптическому волокну является линзовое
10 волокно, включающее оптическое волокно, имеющее световедущую жилу и оболочку и линзовый элемент, сформированный на конце
волокна. Линзовый элемент выполнен в виде двух наклонных
поверхностей, сформированных на торцовой части оболочки,
сопряженных с выпуклой криволинейной областью торца световедущей
15 жилы (см. европейский патент № 1109042, МПК G 02 В 6/42,
опубликован 20.06.2001г.).

Известное линзовое оптическое волокно просто в изготовлении и
последующем использовании, однако в случае применения оптического
волокна с пустотелыми продольными каналами в процессе изготовления
20 линзового элемента и его эксплуатации каналы оказываются
загрязненными, что отрицательно сказывается на стабильности работы
линзового оптического волокна, а также приводит к увеличению
оптических потерь.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков к
25 заявляемому лазерному модулю является лазерный диодный модуль,
включающий лазерный диод и линзовое оптическое волокно,
включающее оптическое волокно, имеющее световедущую жилу и
оболочку и линзовый элемент, сформированный на конце волокна.
Линзовый элемент выполнен в виде двух наклонных поверхностей,

сформированных на торцовой части оболочки, сопряженных с выпуклой криволинейной областью торца световедущей жилы (см. европейский патент №1109042, МПК G 02 В 6/42, опубликован 20.06.2001г.).

Известный лазерный диодный модуль-прототип, при
5 использовании в качестве оптического волокна с пустотелыми полыми каналами, имеет нестабильные характеристики из-за загрязнения стенок полых каналов в процессе изготовления и эксплуатации лазерного модуля.

Раскрытие изобретения

10 Задачей настоящего изобретения являлась разработка линзового оптического волокна и на его основе лазерного модуля, которые бы не меняли в процессе изготовления и эксплуатации оптические характеристики, имели незначительные оптические потери и имели бы стабильные эксплуатационные характеристики.

15 Поставленная задача решается тем, что в линзовом оптическом волокне, включающем оптическое волокно в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами, линзовый элемент в виде линзовой области и горловины термически сформирован из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты
20 у границы горловины и волокна.

Диаметр D_r горловины преимущественно удовлетворяет соотношению:

$$D_c < D_r,$$

где: D_c - диаметр световедущей области оптического волокна, мкм;

25 Отсутствие выхода каналов на торец волокна позволяет предотвратить загрязнение их стенок при формировании линзовой части из материала самого волокна, а выбранный диаметр горловины обеспечивает возможность доставки всего излучения из световедущей области на линзовую область (при излучении из волокна), или доставить

все сфокусированное линзовой областью излучение в световедущую область волокна (при вводе излучения в волокно).

Поставленная задача решается также тем, что в лазерном модуле, включающем лазерный излучатель и оптически связанное с ним
 5 линзовое оптическое волокно, состоящее из оптического волокна в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами и линзового элемента в виде линзовой области и горловины, термически сформированный из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты у границы горловины и волокна.
 10 Диаметр D_r горловины преимущественно удовлетворяет соотношению:

$$D_e < D_r;$$

где: D_e - диаметр световедущей области оптического волокна, мкм;

В ряде случаев возникает необходимость ввести в волокно свет от
 15 лазерного излучателя, размер излучающей области которого превосходит размер световедущей области волокна и в тоже время апертура светового пучка меньше апертуры волокна. Таким источником, например, является многомодовый лазерный диод соединенный с цилиндрической линзой, коллимирующей излучение в плоскости,
 20 перпендикулярной р-п переходу.

Для согласования такого источника с волокном без существенных потерь необходимо изготовить линзовое волокно с диаметром световедущей области d , мкм, преимущественно удовлетворяющей соотношению:

$$25 \quad S/d \leq (NA_F / NA_L - 1);$$

где S - ширина страйпа лазерного диода, мкм;

NA_F - апертура волокна,

NA_L - апертура излучения лазерного диода в плоскости, параллельной р-п переходу.

При этом, расстояние L от поверхности линзовой области до концов пустотелых продольных каналов и радиус кривизны R линзовой области могут быть преимущественно определены из выражений:

$$L = nd/2 NA_L, \text{ мкм};$$

$$R = L(n-1)/n, \text{ мкм};$$

где: n - показатель преломления материала оптического волокна.

В вышеописанном случае линзовая область волокна выполняет функцию Фурье преобразования светового пучка лазерного диода, и формирует его Фурье образ в области конца световедущей жилы.

В другом случае возникает необходимость ввести в волокно свет от лазерного излучателя, размер излучающей области которого сопоставим или меньше размера световедущей области волокна и в тоже время апертура светового пучка сопоставима или больше апертуры волокна. Таким источником, например, является одномодовый лазерный диод.

Для согласования такого источника с волокном без существенных потерь необходимо изготовить линзовое волокно с расстоянием L от поверхности линзовой области до концов пустотелых продольных каналов, и расположить излучатель на расстоянии a от поверхности линзовой области, преимущественно удовлетворяющем выражениям:

$$a = Lh/d, \text{ мкм};$$

$$a/L \leq NA_F / NA_M;$$

где: h - толщина волновода одномодового лазерного диода, мкм;

NA_M - апертура излучения лазерного диода в плоскости,

перпендикулярной к р-п переходу.

Радиус кривизны R линзовой области может быть преимущественно определен из выражения:

$$R = a(n-1)/n(1+h/d), \text{ мкм};$$

В вышеописанном случае линзовая область волокна выполняет функцию проекционного элемента, осуществляющего перенос изображения излучающей области источника в область конца световедущей жилы с увеличением размера изображения в L/a раз.

5 В других случаях необходимо ввести в волокно свет от лазерного излучателя, излучение которого имеет различную диаграмму направленности во взаимно перпендикулярных плоскостях, а также различные размеры перетяжки в этих плоскостях. Таким излучателем, например, является многомодовый лазерный диод, излучение которого
10 является многомодовым в плоскости, параллельной р-п переходу, и одномодовым в плоскости, перпендикулярной р-п переходу.

Для согласования такого источника с волокном без существенных потерь необходимо изготовить линзовое волокно, линзовая область которого имеет различную оптическую силу во взаимно
15 перпендикулярных плоскостях. Линзовая область такого волокна должна, например, выполнять функцию Фурье преобразования светового пучка в плоскости, параллельной р-п переходу и функцию проекционного элемента в плоскости, перпендикулярной р-п переходу. Геометрические параметры такого линзового волокна, могут быть
20 рассчитаны на основе выражений, приведенных выше.

Наиболее простым в изготовлении линзовым элементом является линзовый элемент со сферической поверхностью. Сферическая поверхность, однако, при использовании ее в качестве линзы, вносит значительные геометрические искажения в форму светового пучка, называемые сферическими aberrациями. Для уменьшения сферических
25 aberrаций фокусирующий элемент выполняют обычно в виде двух линз, параметры которых выбирают таким образом, чтобы положительная aberrация первой линзы компенсировалась отрицательной aberrацией второй линзы для крайних лучей, проходящих через фокусирующий

элемент. Вариантом заявляемого изобретения является линзовое волокно, дополнительно содержащее оболочку, расположенную вокруг световедущей области и вокруг пустотелых каналов и выполненную из материала с более высоким показателем преломления, чем материал световедущей области. Эта оболочка не обладает светоудерживающими свойствами. Ее назначение заключается в компенсации сферической аберрации в линзовом элементе линзового волокна для крайних лучей, проходящих через линзовый элемент. При этом процесс изготовления такого скомпенсированного линзового элемента ничем не отличается от изготовления обычного линзового элемента. Отличие существует только на стадии изготовления оптического световода, заготовка которого должна содержать дополнительную оболочку из материала с более высоким показателем преломления, чем внутренняя область.

Пустотелые продольные каналы волокна могут быть выполнены сужающимися по направлению к линзовой области, Пустотелые каналы в области оптического волокна, прилегающей к его торцу, могут быть также выполнены с немонотонно изменяющимися размерами. В частности, по мере приближения к концу волокна, они могут сначала расширяться, а затем сужаться до нуля, или иметь каплевидную форму. Такая форма каналов может быть изготовлена путем двухстадийного нагрева конца волокна. На первой стадии конец волокна нагревается до температуры, превышающей температуру размягчения материала волокна и каналы схлопываются у конца волокна. На второй стадии внутри каналов создается избыточное давление, и конец волокна нагревается до температуры размягчения. При этом избыточное давление внутри каналов приводит к образованию каплевидных полостей на концах каналов. Избыточное давление может быть создано путем подачи в каналы с противоположного конца волокна газа или

воздуха под давлением, или путем откачки газа или воздуха снаружи волокна.

Световедущая область оптического волокна может быть одномодовой или многомодовой. В случае многомодовой световедущей области внутри нее может быть выполнена одномодовая световедущая жила, выполненная традиционным методом, т. е. из материала с более высоким показателем преломления. Эта одномодовая световедущая жила может быть легирована редкоземельными элементами, такими как эрбий, иттербий, неодим, гольмий, туллий и др. В этом случае одномодовая световедущая жила может выполнять функции активной лазерной среды, оптическая накачка которой осуществляется излучением, распространяющемся в упомянутой многомодовой световедущей области.

Существенным преимуществом такого линзового волокна, изготовленного в соответствии с заявляемым изобретением, является то, что конец одномодовой световедущей жилы и конец многомодовой световедущей области имеют различную продольную координату. При этом средство фокусировки, оптимизированное для переноса излучения от лазерного излучателя к многомодовой световедущей области, оказывается расфокусированным для переноса излучения от одномодовой световедущей жилы к лазерному излучателю. Вследствие этого, лазерный излучатель оказывается защищенным от излучения, генерируемого одномодовой световедущей жилой. На линзовую поверхность может быть также нанесено селективное зеркальное покрытие для дополнительной защиты лазерного излучателя от излучения, выходящего из одномодовой жилы, а также для обратного отражения излучения, распространяющегося по одномодовой жиле.

Пустотелые каналы в линзовом волокне лазерного модуля могут быть выполнены сужающимися по направлению к линзовой области

волокна, а также могут быть также выполнены с немонотонно изменяющимися размерами.

Световедущая область линзового волокна может дополнительно содержать одномодовую жилу, выходящую на поверхность линзовой области.

Лазерный модуль может быть дополнительно снабжен средством для фокусировки лазерного излучения, которое может быть выполнено в виде любого известного устройства, например, линзы (сферической, асферической, шариковой, цилиндрической, градиентной) или комбинации линз.

Дополнительное средство для фокусировки лазерного излучения может быть выполнено также в виде сферического, цилиндрического или асферического зеркала.

Дополнительное средство для фокусировки лазерного излучения в лазерном модуле может быть выполнено в виде комбинации линзы и зеркала, а также линз и зеркал в различных количествах.

Дополнительное средство для фокусировки лазерного излучения в лазерном модуле может дополнительно содержать самые разнообразные оптические элементы, такие как плоские зеркала, призмы, плоскопараллельные пластины, поляризационные оптические элементы, такие как разделители луча, четвертьволновые пластины, полуволновые пластины и т.д., предназначенные для концентрации лазерного излучения внутри световедущей области волокна.

Лазерный излучатель в лазерном модуле может быть выполнен в виде лазерного диода, лазерной линейки со средством объединения лазерных пучков в один пучок или набора лазерных диодов со средством объединения лазерных пучков в один пучок.

В случае наличия в световедущей области волокна одномодовой жилы существенным преимуществом лазерного модуля является то, что

конец одномодовой световедущей жилы и конец многомодовой световедущей области имеют различную продольную координату. При этом средство фокусировки, оптимизированное для переноса излучения от лазерного излучателя к многомодовой световедущей области, оказывается расфокусированным для переноса излучения от одномодовой световедущей жилы к лазерному излучателю. Вследствие этого, лазерный излучатель оказывается защищенным от излучения, генерируемого одномодовой световедущей жилой.

Краткое описание фигур чертежей

- 10 Заявляемое изобретение поясняется чертежами, где на фиг. 1 показано линзовое оптическое многомодовое волокно в продольном разрезе;
- на фиг. 2 приведен разрез по А-А оптического волокна, изображенного на фиг. 1;
- 15 на фиг. 3 показан разрез по Б-Б оптического волокна, изображенного на фиг. 1;
- на фиг. 4 приведено оптическое волокно, световедущая область которого включает дополнительную одномодовую световедущую жилу, в продольном разрезе;
- 20 на фиг. 5 приведен разрез по В-В оптического волокна, изображенного на фиг. 4;
- на фиг. 6 показан разрез по Г-Г оптического волокна, изображенного на фиг. 4;
- на фиг. 7 приведен вид сверху на лазерный модуль с многомодовым линзовым волокном в продольном разрезе;
- 25 на фиг. 8 приведен вид сбоку на лазерный модуль, изображенный на фиг. 7;
- на фиг. 9 показан вид сбоку на лазерный модуль с многомодовым волокном, снабженным оболочкой, в продольном разрезе;

на фиг. 10 приведен вид сбоку на лазерный модуль с дополнительной линзой и с одномодовым волокном в продольном разрезе;

на фиг. 11 показан вид сверху на лазерный модуль, изображенный на фиг.10.

5 на фиг. 12 приведен вид сбоку на лазерный модуль с дополнительными линзой и зеркалом с многомодовым волокном в продольном разрезе;

на фиг. 13 показан вид сверху на лазерный модуль, изображенный на фиг.12.

Заявляемое линзовое оптическое волокно включает оптическое
10 волокно 1 со световедущей областью 2 и окружающими область 2
пустотелыми продольными каналами 3, линзовый элемент 4,
сформированный из материала волокна 1, содержащий линзовую
область 5 и горловину 6. Каналы 3 замкнуты на границе волокна 1 и
горловины 6. (см фиг. 1). Световедущая область 2 может включать
15 одномодовую жилу, выходящую на поверхность 8 линзовой области
(см. фиг. 4). Пустотелые каналы 3 оканчиваются преимущественно на
заданном расстоянии L от поверхности 8 линзовой области 5. Каналы 3
могут быть выполнены сужающимися по направлению к горловине 6
волокна 1 (см. фиг. 4).

20 Замкнутые каналы 3 образуют в волокне 1 путем ограниченного во
времени температурного воздействия на конец волокна 1,
сочетающегося с охлаждением остальной части волокна 1. В результате
такого нагрева область волокна 1, прилегающая к его торцу, достигает
точки размягчения, и площадь поперечного сечения каналов 3
25 уменьшается. Уменьшение площади поперечного сечения каналов 3
происходит преимущественно за счет сил поверхностного натяжения в
размягченном материале оптического волокна 1. Способы нагрева и
охлаждения волокна 1, а также временной ход нагрева и охлаждения
преимущественно должен быть таким, чтобы создать значительный

градиент температуры вдоль волокна 1. В некоторых случаях целесообразно создать также определенный градиент температуры в радиальном направлении. Нагрев может быть непрерывным, импульсным и импульсно периодическим. Могут быть использованы
5 любые известные способы нагрева и охлаждения волокна 1. В качестве примеров известных способов нагрева можно указать такие способы, как нагрев электрической дугой, газовой горелкой, лазером, в том числе CO₂ лазером или иным источником электромагнитного излучения, соприкосновением с нагретой средой или телом. Для охлаждения могут
10 быть использованы, например, соприкосновение с охлаждающей средой или телом, обдув, естественное радиационное или конвекционное охлаждение. В результате такого воздействия в области волокна 1 вблизи его торца каналы 3 схлопываются и заканчиваются на некотором расстоянии от торца волокна 1.

15 Уменьшение площади поперечного сечения пустотелых каналов 3 может быть достигнуто не только за счет сил поверхностного натяжения, но и дополнительно за счет специально создаваемой разницы давлений газа или воздуха снаружи волокна 1 и внутри каналов 3, а также за счет газодинамических сил, возникающих при прокачке газа или воздуха
20 через каналы 3.

В результате температурного воздействия пустотелые каналы 3 схлопываются и не выходят к торцу волокна 1. Поэтому торец волокна может быть обработан стандартными технологическими приемами, например такими, как термообработка, механическая полировка,
25 химическая обработка. Применяя дополнительный нагрев или другие методы обработки на конце волокна 1 формируют оптический элемент 4, состоящий из линзовой области 5 и горловины 6.

Одним из способов изготовления линзового элемента является термообработка конца волокна, в котором пустотелые каналы были

предварительно схлопнуты. В частности – термообработка электродуговым разрядом.

Для варианта линзового элемента со сферической линзовой поверхностью основными параметрами линзовой области являются

5 радиус кривизны линзовой поверхности и расстояние от линзовой поверхности до конца пустотелых каналов, которое определяется длиной горловины. Термообработка конца волокна приводит к разогреву материала волокна до температуры, превышающей температуру размягчения материала волокна. При этом одновременно инициируются

10 два процесса: процесс округления конца волокна и процесс дальнейшего схлопывания каналов, развивающийся в направлении от конца волокна. Процесс округления последовательно проходит через следующие стадии: вначале конец волокна, изначально имевший практически плоский торец, приобретает незначительную кривизну. Далее радиус

15 кривизны уменьшают, до тех пор, пока конец волокна не приобретет форму полусферы с радиусом, приблизительно равным радиусу волокна. После этого конец волокна начинает трансформироваться в шарик, радиус которого постепенно увеличивается, за счет вовлечения в его объем материала волокна. Этот шарик перемещается вдоль волокна и

20 постепенно поглощает это волокно, увеличивая тем самым свой объем и радиус. Т.е. радиус кривизны однозначно определяется временем термообработки. Скорость этого процесса можно регулировать путем изменения температуры нагрева. Предпочтительной является такая скорость процесса, при которой обеспечивается достаточный контроль

25 за размерами элемента. Второй процесс – процесс дальнейшего схлопывания каналов развивается синхронно с первым процессом. Причем, начиная с момента образования шарика, скорость схлопывания каналов становится равной скорости движения шарика вдоль волокна. Это означает, что длина горловины не изменяется по мере увеличения

радиуса шарика. Вместе с тем длина горловины может быть изменена путем изменения локализации нагрева. Горловина получается более короткой при преимущественно торцевом нагреве и более длинной при частично боковом нагреве. Поэтому, изменяя локализацию нагрева, можно изготавливать горловину разной длины. Таким образом, имеется возможность изменять независимые параметры линзовой области, такие, как радиус кривизны и длина горловины, путем изменения независимых параметров – продолжительности нагрева и локализации нагрева.

Изготовление линзовой области с различной оптической силой во взаимно перпендикулярных направлениях также возможно методом термообработки. При этом линзовая область может быть изготовлена путем трехстадийного процесса. На первой стадии изготавливают сферическую линзовую область методом, описанным выше. На второй стадии сферическая линзовая область нагревают выше температуры размягчения, после чего осуществляют предварительную формовку линзового элемента методом сдавливания с двух противоположных сторон размягченной линзовой области. На завершающей третьей стадии осуществляют термообработку отформованного линзового элемента в режиме огненной полировки. В этом режиме линзовый элемент сохраняет в целом свою форму, но происходит сглаживание неровностей возникших после формовки и улучшение оптических свойств линзовой поверхности. Возможен, также комбинированный термо-механо-термический трехстадийный процесс формирования несимметричного линзового элемента. В этом случае вторая стадия осуществляется методом механической шлифовки.

Варианты осуществления изобретения

В примере конкретного исполнения термообработка волокна была осуществлена электрической дугой, образованной между двумя стальными заостренными электродами. На электроды подавалось

напряжение в диапазоне от 2 до 7 кВ. Расстояние между электродами могло изменяться в диапазоне от 0,5 до 3 мм. При этом дуговой канал имел диаметр от 0,2 до 1 мм. Температура дуги регулировалась от 1000 до 2000 градусов Цельсия путем изменения напряжения и зазора между электродами. Этот источник нагрева позволял нагревать волокно до температуры от 1000 до 2000 градусов Цельсия. Включение и выключение дуги производилось путем включения и выключения источника питания, которое, в свою очередь, контролировалось электронным таймером. Этот интервал выбирался в диапазоне от 0,1 до 5 секунд. Процесс схлопывания каналов состоял из следующих операций. При выключенном блоке питания дуги волокно, закрепленное на трехкоординатной подвижке, позиционировалось таким образом, чтобы его конец оказывался погруженным в дуговой канал на глубину, равную от одного до трех диаметров волокна. После этого под управлением таймера включалась дуга путем включения блока питания дуги на время от 0,1 до 5 секунд. Результат контролировался под микроскопом, а также путем сборки тестовых лазерных модулей. В примере конкретного исполнения было использовано волокно с диаметром световедущей области 33 мкм, и наружным диаметром 122 мкм. Зазор между электродами составлял 1 мм, температура дуги 2000 градусов Цельсия. Диаметр дугового канала составлял 0,7 мм, волокно погружалось в дуговой канал на глубину приблизительно равную 200 мкм. Интервал времени, в течение которого дуга была включена, составлял 0,9 секунды. В результате описанного процесса пустотелые каналы схлопывались на расстоянии приблизительно 100 мкм от конца волокна, причем конец каналов оказывался сужающимся на длине приблизительно 50 мкм.

Процесс изготовления линзового элемента состоял из следующих операций. При выключенном блоке питания дуги волокно, закрепленное

на трехкоординатной подвижке, позиционировалось таким образом, чтобы его конец оказывался погруженным в дуговой канал на глубину, равную от одного до пяти диаметров волокна. После этого под управлением таймера включалась дуга путем включения блока питания дуги на время от 0,1 до 5 секунд. Результат контролировался под микроскопом. Были проведены несколько десятков контрольных процессов, в которых варьировалась продолжительность дугового разряда, температура дуги и глубина погружения конца волокна в канал дуги. Радиус кривизны линзовой поверхности зависил от продолжительности дугового разряда, длина горловины – от глубины погружения. Зазор между электродами составлял 1 мм, температура дуги 2000 градусов Цельсия. Волокно погружалось в дуговой канал на глубину приблизительно равную 350 мкм. Интервал времени, в течение которого дуга была включена, составлял 1,4 секунды. В результате описанного процесса был получен линзовый элемент со сферической линзовой поверхностью. Радиус кривизны составил приблизительно 80 мкм, а расстояние от линзовой поверхности до конца пустотелых каналов составило приблизительно 250 мкм, что соответствует длине горловины – 90 мкм.

Помимо описанной выше методики, замыкание каналов 3 может быть осуществлено заполнением их на глубину X оптически прозрачной массой с показателем преломления, желательно близкой к показателю преломления материала волокна 1, например, боросиликатным стеклом, оптическим компаундом, переходящих в твердую фазу и допускающих последующее применение стандартных технологических приемов обработки. В случае использования стекла обработка заключается в нагреве конца волокна 1 и массы стекла до температуры, которая выше температуры размягчения стекла, но ниже температуры размягчения материала волокна 1, и последующем введении в соприкосновение конца

волокна 1 и размягченной массы стекла. Заполнение каналов 3 размягченным стеклом достигается за счет капиллярных сил и/или за счет специально создаваемой разности давлений внутри и снаружи каналов 3.

- 5 Лазерный модуль включает (см. фиг. 7) источник лазерного излучения 9, и установленное по ходу лазерного излучения линзовое оптическое волокно, включающее собственно волокно 1 и линзовый элемент 5, состоящий из линзовой области 5 и горловины 6. Линзовая область 5 может иметь как сферическую форму (см. фиг. 10, фиг. 11), так
- 10 и асферическую форму (см. фиг. 7, фиг. 8). Лазерный модуль может быть снабжен корпусом 10, а также дополнительным средством для фокусировки лазерного излучения 11. Средство 11 может быть выполнено в виде линзы 12 (см. фиг. 10, фиг. 11) или зеркала 13 любой известной конструкции, или в виде их комбинации (см. фиг. 12, фиг. 13).
- 15 Оптическое волокно 1 включает световедущую область 2 и окружающими область 2 пустотелые продольные каналы 3, замкнутые на границе волокна 1 и линзового элемента 4. Световедущая область 2 может включать одномодовую жилу 7 (см. фиг. 10, фиг. 11). Пустотелые каналы 3 оканчиваются преимущественно на заданном расстоянии L от
- 20 поверхности 8 линзовой области 5. Каналы 3 могут быть выполнены сужающимися по направлению к горловине 6 (см. фиг. 10, фиг. 11). Линзовое оптическое волокно может быть снабжено оболочкой 14, имеющей линзовую часть 15 и горловину 16 (см. фиг. 9).

Промышленная применимость

- 25 Было изготовлено линзовое оптическое волокно из волокна, поперечное сечение которого показано на фиг. 3. Волокно 1 имело диаметр световедущей области 2 - 33 мкм и наружный диаметр 122 мкм. Волокно 1 было изготовлено из кварцевого стекла. В качестве источника нагрева использовали электрическую дугу, создаваемую между двумя

электродами, расстояние между которыми составляло 1,0 мм. Конец оптического волокна 1 длиной 0,1 мм вдвигали внутрь дуги. Наблюдение вели через бинокулярный микроскоп МБС-10. Процесс схлопывания каналов состоял из следующих стадий. В течение приблизительно 1,5 с
5 конец оптического волокна 1, находящийся внутри дуги, размягчался. Признаком этого служило видимое уменьшение диаметра пустотелых каналов 3 внутри волокна 1. Каналы 3 полностью исчезали на отрезке, находящимся внутри дуги, а также на некотором расстоянии от видимой области дуги, составлявшим около 0,1 мм. В этот момент дуга
10 выключалась.

Процесс изготовления линзового элемента состоял из следующих операций. Волокно погружалось в дуговой канал на глубину приблизительно равную 350 мкм. Интервал времени, в течение которого дуга была включена, составлял 1,4 секунды. В результате описанного
15 процесса был получен линзовый элемент со сферической линзовой поверхностью. Радиус кривизны составил приблизительно 80 мкм, а расстояние от линзовой поверхности до конца пустотелых каналов составило приблизительно 250 мкм, что соответствует длине горловины – 90 мкм.

20 Был изготовлен заявляемый лазерный модуль в корпусе 10 с использованием линзового волокна, изготовленного указанным выше способом. Корпус 10 представлял собой герметичный металлический короб. Герметизацию осуществляли после окончания сборки всех внутренних элементов путем установки крышки корпуса 10 методом
25 сварки. Оптическое волокно 1 выходит из корпуса 10 через стенку и место выхода волокна 1 герметизировано методом пайки. В качестве линзового оптического волокна было использовано волокно с диаметром световедущей области 33 мкм, наружным диаметром 122 мкм, числовой апертурой 0,43. Волокно содержало линзовый элемент со

сферической линзовой поверхностью, изготовленный указанным выше способом. Радиус кривизны составил приблизительно 80 мкм, а расстояние от линзовой поверхности до конца пустотелых каналов составило приблизительно 250 мкм, что соответствует длине горловины – 90 мкм. В качестве источника лазерного излучения 9 был использован лазерный диод с размером излучающей области 100 мкм на 1 мкм и с расходимостью излучения 10 градусов на 40 градусов в соответствующих направлениях. Питание лазерного диода 9 осуществлялось через герметичные токовводы, расположенные на стенке корпуса 10. Для питания лазерного диода 9 использовали источник стабилизированного тока. Сила тока составила 2,5А. При этом диод излучал 2 Вт оптической мощности. Цилиндрическая линза 12 коллимирует излучение диода в одной плоскости, уменьшая расходимость излучения в этой плоскости. Сферический линзовый элемент 4 фокусировал излучение в световедущую область 2 волокна 1. При сборке ось линзового оптического волокна совпадала с оптической осью лазерного диода с точностью не менее 10мкм. Расстояние от линзового элемента 4 до цилиндрической линзы 12 составляло 50мкм – 15мкм. В примере конкретного исполнения использована цилиндрическая линза 12 с круглым поперечным сечением и диаметром 110 мкм. Радиус кривизны линзовой области 5 линзового волокна составил приблизительно 80 мкм, а расстояние от линзовой поверхности до конца пустотелых каналов 3 составило приблизительно 250 мкм, что соответствует длине горловины 6– 90 мкм. В процессе сборки лазерный диод 9 был включен на 10% от максимальной мощности, и линзовый элемент 4 с волокном 1 закреплялись на трех координатной подвижке и перемещались в трех взаимно перпендикулярных направлениях при одновременном контроле оптической мощности, выходящей из волокна 1. В процессе этих перемещений было найдено положение линзовой

области 5, при котором наблюдалась максимальная мощность на выходе
волокна 1. После этого крышка корпуса 10 заваривалась в атмосфере
инертного газа. Оптическая мощность на выходе из волокна лазерного
модуля составила 1,52 Вт или 73% от максимальной мощности лазерного
5 диода.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Линзовое оптическое волокно, включающее оптическое волокно в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами, и
5 линзовый элемент в виде линзовой области и горловины, термически сформированный из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты у границы горловины и волокна.

2. Линзовое оптическое волокно по п. 1, в котором диаметр D_r горловины удовлетворяет соотношению:

10
$$D_c < D_r, \text{ где:}$$

D_c - диаметр световедущей области оптического волокна, мкм;

3. Линзовое волокно по любому из пунктов п. 1 - 2, в котором упомянутые каналы выполнены сужающимися по направлению к линзовой области.

4. Линзовое оптическое волокно по любому из п. 1 - 2, в котором
15 световедущая область упомянутого волокна содержит одномодовую жилу, выходящую на поверхность упомянутой линзовой области.

5. Лазерный модуль, включающий лазерный излучатель и установленное по ходу лазерного луча линзовое оптическое волокно, включающее оптическое
20 волокно в виде световедущей области, окруженной пустотелыми продольными каналами, и линзовый элемент в виде линзовой области и горловины, термически сформированный из материала волокна на его конце, при этом упомянутые каналы замкнуты у границы горловины и оптического волокна.

6. Лазерный модуль по п. 5, в котором диаметр D_r горловины удовлетворяет
25 соотношению:

$$D_c < D_r;$$

где: D_c - диаметр световедущей области оптического волокна, мкм;

7. Лазерный модуль по любому из п. 5 - 6, в котором упомянутый излучатель выполнен в виде многомодового лазерного диода, а диаметр световедущей
30 области d упомянутого линзового волокна, расстояние L от поверхности

линзовой области до концов упомянутых каналов и радиус кривизны R линзовой области удовлетворяют соотношениям:

$$S/d = (NA_F / NA_L - 1);$$

$$L = nd/2 NA_L, \text{ мкм};$$

$$5 \quad R = L(n-1)/n, \text{ мкм};$$

где: S – ширина страйпа лазерного диода, мкм;

NA_F – апертура волокна,

NA_L – апертура излучения лазерного диода в плоскости, параллельной р-п переходу;

10 n – показатель преломления материала оптического волокна.

8. Лазерный модуль по любому из п. 5 - 6, в котором упомянутый излучатель выполнен в виде одномодового лазерного диода, а расстояние L от поверхности линзовой области до концов упомянутых каналов, расстояние a от упомянутого излучателя до поверхности линзовой области и радиус

15 кривизны R линзовой области удовлетворяют соотношениям:

$$a = Lh/d, \text{ мкм};$$

$$a/L = NA_F / NA_M;$$

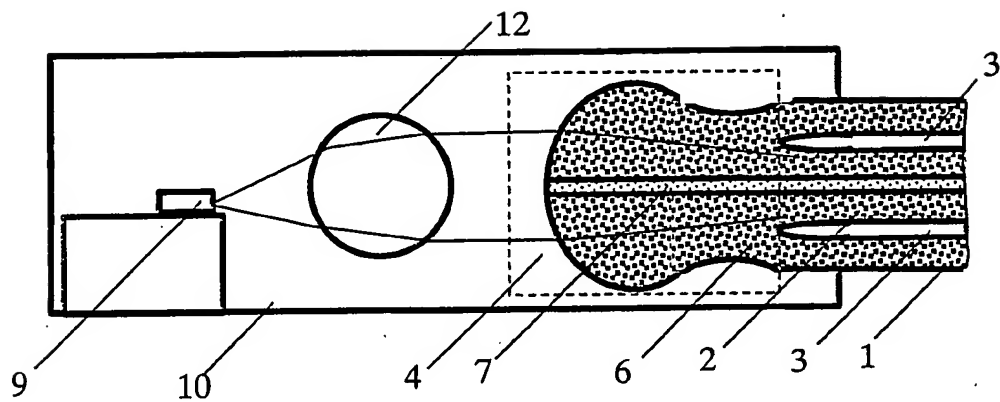
$$R = a(n-1)/n(1+h/d), \text{ мкм};$$

h – толщина волновода одномодового лазерного диода, мкм;

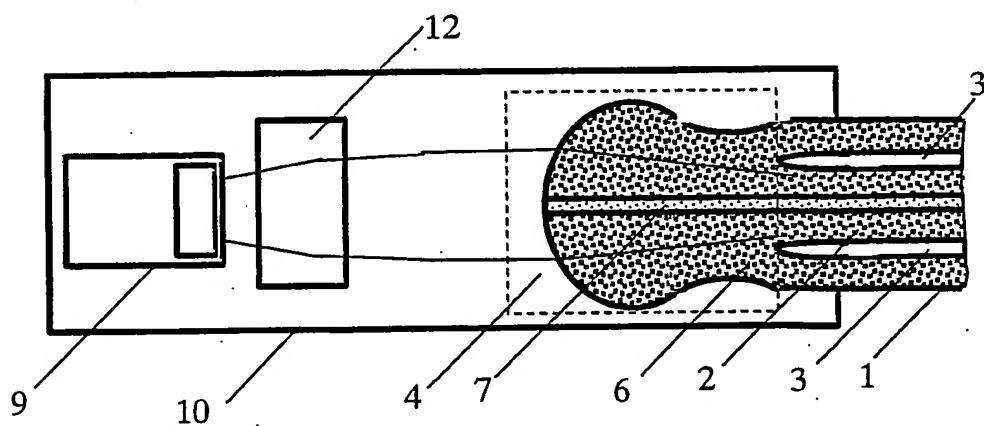
20 NA_M – апертура излучения лазерного диода в плоскости, перпендикулярной к р-п переходу.

9. Лазерный модуль по любому из пунктов п. 5 - 8, в котором упомянутые каналы выполнены сужающимися по направлению к линзовой области.

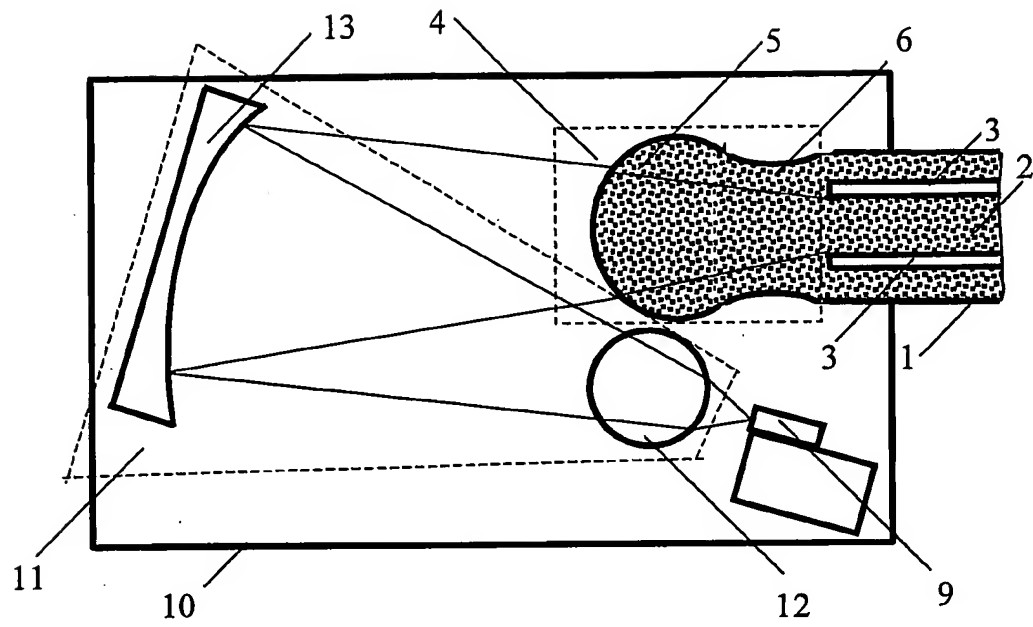
10. Лазерный модуль по п. 5- 9, в котором световедущая область
25 упомянутого волокна содержит одномодовую жилу, выходящую на поверхность упомянутой линзовой области.



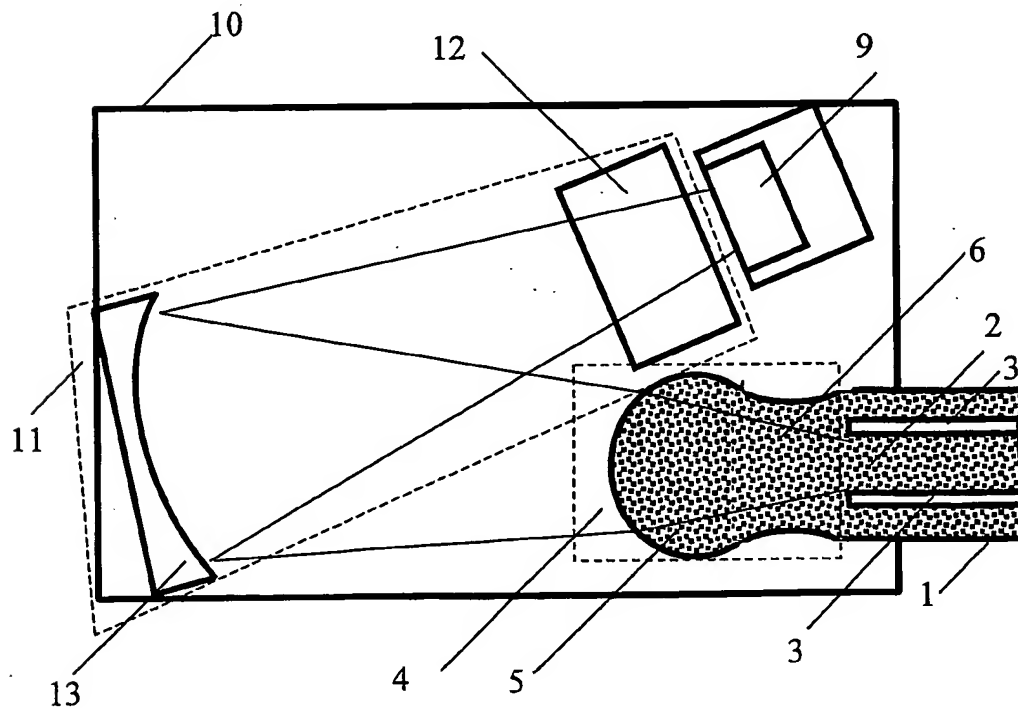
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13